

ALIKASVOSPUUSTO LASERKEILAUSAINEISTOSSA
Hirvaan opetusmetsä

Virtuaalimetsä 2.0 -hanke

Lohi Juho

Opinnäytetyö
Metsätalous

Metsätalousinsinööri (AMK)

2020

Metsätalouden koulutusohjelma
Metsätalousinsinööri (AMK)

Tekijä	Juho Lohi	Vuosi	2020
Ohjaaja	Markus Korhonen		
Toimeksiantaja	Virtuaalimetsä 2.0 -hanke		
Työn nimi	Alikasvospuusto laserkeilausaineistossa		
Sivu- ja liitesivumäärä	29 + 5		

Opinnäytetyössä tehtiin tutkimus, jonka tavoitteena oli löytää luotettava tapa tulkita alikasvospuustoa laserkeilausaineistosta. Tavoitteena oli luoda malli, jonka avulla voidaan kehittää digitaalisia työkaluja metsätalouden suunnitteluun, erityisesti tapauksiin, joissa valtapuuston alla oleva taimiaines tulee ottaa huomioon. Tällaisia tapauksia voivat olla esimerkiksi ennakoraivaustarpeen määrittäminen, riistatiheikköjen sijoittelu tai peitteisen metsänkasvatuksen edellytysten arviointi.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Virtuaalimetsä 2.0 -hanke, jonka tavoitteena on kehittää Virtuaalimetsä-sovellusta. Toimeksiantajan tavoite tutkimukselle oli selvittää, voidaanko laserkeilausaineiston korkeusarvoja hyödyntää alikasvoksen mallintamisessa.

Tutkimuksessa käytettiin referenssiaineistona Lapin ammattikorkeakoulun metsätalousinsinööriopiskelijoiden keräämää puustotietoaineistoa Hirvaan opetusmetsästä Rovaniemeltä. Aineisto sisälsi puustotiedot 315 taimikkokoealalta. Tutkittava laserkeilausaineisto oli Maanmittauslaitoksen harvapulssisella keilausmenetelmällä tuottama aineisto. Aineistoja verrattiin keskenään tarkastelemalla niiden antamien pituusarvojen erotuksia.

Parhaimmillaan tutkituista ennusteista onnistui 27 prosenttia. Tulokset olivat harvaisia, ja niiden keskihajonta oli suuri. Tulokset osoittavat, että pelkän laserkeilausaineiston avulla ei voida ennustaa alikasvospuustoa. Tulosta selittäviä tekijöitä ovat harvapulssinen laserkeilausaineisto ja maanpinnan epätasaisuudet.

Tutkimuksessa ei löydetty luotettavaa tapaa tulkita alikasvospuustoa laserkeilausaineistosta. Johtopäätöksenä todetaan, että harvapulssinen laserkeilausmenetelmä ei kykene erottamaan riittävästi alikasvospuuston piirteitä pääjakson alapuolelta. Saman tutkimuksen toteuttaminen tiheäpulssisella laserkeilausaineistolla voisi antaa paremman tuloksen.

Degree Programme in Forestry
Forestry Engineer

Author	Juho Lohi	Year	2020
Supervisor	Markus Korhonen		
Commissioned by	Virtual Forest 2.0 -project		
Subject of thesis	Underwood in laser scanning data		
Number of pages	29 + 5		

The aim of the thesis was to find a reliable way to interpret the underwood from laser scanning data. The aim was to create a model for developing digital tools for forestry planning. Especially in cases where saplings under the main stand should be considered. Such cases may include, for example, planning the need for pre-clearing, the placement of game thickets or the planning of the conditions for continuous-cover silviculture.

The thesis is commissioned by the Virtual Forest 2.0 -project, which aims to develop the Virtual Forest application. The commissioner's goal for the study was to determine whether the height values of laser scanning data could be used to model the undergrowth.

The reference data used in the study was the forest information collected by the forestry engineering students at Lapland University of Applied Sciences in the educational forest of Hirvas in Rovaniemi. The data included sapling data from 315 sample plots. The laser scanning material to be examined was the data produced by the National Land Survey of Finland using the low-pulse scanning method. The data were compared by looking at the differences in their length values.

At best, 27 % of studied predictions succeed. The results were biased and their standard deviation was large. The result shows that laser scanning data alone cannot predict underwood. Factors that explain the result are low-pulse laser scanning data and ground irregularities.

The study did not find a reliable way to interpret underwood from the laser scanning data. In conclusion, the low pulse laser scanning method cannot sufficiently distinguish the features of the underwood below the main section. Doing the same research with dense pulse laser scanning data could give a better result.

Key words

underwood, digitalization, remote sensing, tree interpretation

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 LASERKEILAUS.....	8
2.1 Laserkeilausaineiston tuottaminen.....	8
2.2 Laserkeilaus metsätaloudessa.....	9
3 METSÄNMITTAUS	11
3.1 Puutunnukset.....	11
3.2 Puutunnusten mittaaminen	12
3.3 Mittausten tarkkuuden tarkastelu	13
4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	16
4.1 Maastotyöt	16
4.2 Laserkeilausaineiston analysointi	19
4.3 Aineistojen vertailu.....	21
5 TULOKSET.....	22
5.1 Laskentatulokset	22
5.2 Tulosten luotettavuus.....	23
5.3 Tulosten analysointi	24
6 POHDINTA	26
LÄHTEET.....	28
LIITTEET	30

ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia opinnäytetyöhanketta tukeneita. Kiitos kuuluu ohjaajalleni Markus Korhoselle, sekä maastoaineistoa keräämässä olleille opiskelijatovereileni.

Hanketta on rahoittanut Metsämiesten Säätiö. Lahjoitukset ja säätiöfuusiot ovat tärkeä osa Säätiön yleishyödyllisen toiminnan vaikuttavuutta. Lisätietoa www.mmsaatio.fi.

1 JOHDANTO

Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii Virtuaalimetsä 2.0 -hanke. Virtuaalimetsä 2.0 on Lapin AMK:n hanke, jonka tavoitteena on kehittää digitaalisia tuotteita ja palveluita metsänomistajien aktivoimiseksi. Siten voidaan edistää metsäelinkeinon toimintaedellytyksiä ja elinkeinojen yhteensovittamista Lapissa. Virtuaalimetsä on sovellus, jonka avulla voidaan visualisoida metsävaratietoja. Se myös yhdistää metsätietojärjestelmän ja paikkatietojärjestelmän. Virtuaalimetsä toimii Lapin AMK:n metsätalouden koulutuksessa oppimisympäristönä. Jatkokehityksen kautta sen käyttöä voidaan laajentaa maankäytön suunnitteluun ja metsäneuvontaan. (Lapin AMK 2018.)

Toimeksiantajan tavoite tutkimukselle on testata, voidaanko alikasvospuustoa erottaa harvapulssisesta keilausaineistosta ja voidaanko laserkeilausaineiston korkeusarvojen piirteitä hyödyntää alikasvoksen olemassaolon ennustamisessa. Alikasvospuuston puustotiedon avulla voidaan sijoittaa pienempää puustoa hahmottuihin kohtiin Virtuaalimetsä ympäristössä, jos metsävaratieto ei sisällä tietoa alikasvospuustosta. Alikasvospuuston sijoittelu on tarpeellista esimerkiksi laserkeilausinventoituja metsävaratietoja hyödynnettäessä, sillä laserkeilattu metsävaratieto ei yleensä sisällä alikasvospuuston tietoa. (Korhonen 2020.)

Opinnäytetyöprojekti lähti liikkeelle neljännen opiskeluvuoden syksyllä. Teimme Työelämäläheinen kehittämistoiminta- opintojaksolla Lapin ammattikorkeakoululle projektia, jossa perustimme koulun opetus- ja tutkimuskäyttöön kiinteitä koealoja Rovaniemen Hirvaan opetusmetsään ja mittasimme niiltä tarkkaa puustotietoa. Teimme suuren määrän maastotyötä projektin aikana. Puustotietoja kerätessä heräsi idea maastossa kerätyn aineiston hyödyntämisestä opinnäytetyön muodossa. Opinnäytetyön idea alikasvospuuston tulkinnasta tuli lehtori Markus Korhoselta, joka toimi sekä projektin että opinnäytetyön ohjaavana opettajana.

Opinnäytetyön tavoitteena on löytää luotettava tapa tulkita alikasvospuustoa laserkeilausaineistosta. Opinnäytetyössä verrataan laserkeilausaineistosta estimoituja korkeus arvoja maastosta mitattujen koealojen puustotietoihin ja pyritään löytämään niiden väliltä yhteyksiä.

Laserkeilausaineiston tulkinta on aiheena kiinnostava ja metsäalan tulevaisuutta. Opinnäytetyö on osana metsätalouden digitalisaatiota. Digitalisaatio metsätaloudessa on olemassa olevan tiedon analysointia ja yhdistämistä, näin saadaan arvokkaita ennusteita (Luonnonvarakeskus 2020). Aiheen valintaa tuki ajatus siitä, että aihealueen osaaminen auttaa erikoistumaan myöhemmin ja erottumaan työelämässä.

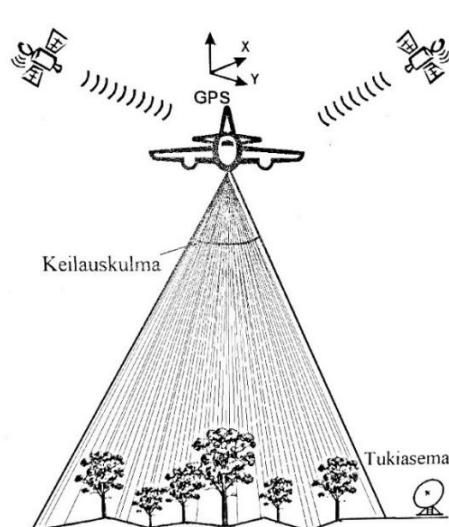
Tutkimuksen toteutus jakautui kolmeen osaan. Osat olivat maastotyöt, laserkeilausaineiston analysointi ja aineistojen vertailu. Maastotyöt toteutettiin Työelämäläheinen kehittämistoiminta -projektin yhteydessä. Laserkeilausaineiston analysointi vaiheessa tuotin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta laskentaan soveltuvaa numero aineistoa. Aineistojen vertailu vaiheessa verrattiin tilastomatematiikan avulla aineistojen arvoja ja pyrittiin löytämään aineistoista yhtäläisyyksiä.

2 LASERKEILAUS

2.1 Laserkeilausaineiston tuottaminen

Metsävaratietojen kaukokartoituksessa uusin, vakiintunut menetelmä on laserkeilaaminen. Laserkeilaus toteutetaan lentämällä kohteen yli lentokoneella tai helikopterilla keilain mukana (ALS-menetelmä, *airborne laser scanning*). Keilain, lasertykki ja ilmaisinosat muodostavat laserin. Lentokoneessa tai helikopterissa olevan keilaimen lasertykki lähettää pulssin, joka heijastuu maassa olevasta kohteesta takaisin ilmaisimelle. Ilmaisimella määritetään keilaimen ja heijastuspinnan välisen etäisyyden laserpulssein kulkuajan perusteella. Menetelmä on kuvattu kuviossa yksi. Laserkeilaimen asennon, paikan ja mitatun etäisyyden avulla voidaan laskea mitatun kohteen korkeus. Laserkeilain muodostaa näin pulssien heijastuskohdista pistepilven. (Holopainen ym. 2015, 37—38.) Pistepilveä ei voida käyttää sellaisenaan, vaan siitä on erotettava ohjelmistotyökaluilla olennaiset piirteet (Salmenperä, H. 2004, 29).

Laserkeilauksella tuotetaan metsän rakennetta kuvaavia pintamalleja (*Digital surface model*, DSM) tai maanpinnan korkeutta kuvaavia maastomalleja (*Digital terrain model*, DTM). Puustoa kuvaavia latvusmalleja (*Canopy height model*, CHM) tuotetaan vähentämällä pintamallista (DSM) maanpinnan korkeus (DTM). (Holopainen ym. 2015, 38.)



Kuvio 1. Laserkeilaimen mittausperiaate (Holopainen ym. 2015, 38.)

2.2 Laserkeilaus metsätaloudessa

Metsien laserkeilauksessa käytetään aluepohjaista menetelmää ja yksittäisten puiden mittaukseen perustuvaa menetelmää. Aluepohjaisessa menetelmässä rasteriruudusta voidaan laskea kaukokartoituspiirteitä, joiden avulla estimoidaan haluttuja puustotunnuksia. Tähän menetelmään voidaan käyttää harvapulssista laserkeilausaineistoa. Yksittäisten puiden mittaukseen perustuvassa yksinpuin-tulkinnassa mitataan puiden pituutta, latvuksen kokoa ja puulajia, joiden avulla voidaan arvioida esimerkiksi läpimittaa ja tilavuutta. Tähän menetelmään tarvitaan tiheäpulssinen keilausaineisto. (Kangas, Päivinen, Holopainen & Maltamo 2011, 136.)

Laserpisteaineisto muodostetaan laserkeilaimen lähettämien laserpulssien tiheyden avulla. Pulssitiheys ilmoitetaan laserpulssien lukumääränä neliömetrillä maanpinnalla. Tiheäpulssisessa keilauksessa pulssitiheys on 5—30 pulssia neliömetrillä ja harvapulssisessa menetelmässä 0,5—2 pulssia neliömetrillä. (Maltamo, Packalén, Uutera, Ärölä & Heikkilä, 2008, 304.)

ALS-menetelmän lisäksi puustoa voidaan laserkeilata metsikön sisältä uudemmalla TLS-menetelmällä. (*terrestrial laser scanning*) TLS-menetelmällä saadaan huomattavasti tarkempaa, jopa millimetrin tarkkuudella olevaa, 3D-pistepilveä kasvillisuuden rakenteesta. Menetelmä perustuu kannettavan laserkeilaimen kuljettamiseen metsässä. TLS-menetelmä ei siis sovellu laajojen alueiden kustannustehokkaaseen kartoitukseen. (Xinlian ym. 2016, 64.)

Metsäsuunnittelussa käytetään harvapulssiseen laserkeilaukseen perustuvaa inventointimenetelmää, jossa jokainen otosyksikkö liitetään maastossa mitattuun otosyksikköön, eli maastokoealaan. Otosyksiköt liitetään toisiinsa laserkeilaus- ja ilmakuvapiirteiden avulla. Menetelmä vaatii riittävän määrän tarkasti mitattuja maastokoealoja kaikilta tulkittavilta metsikön osilta. Numeerisia vääräväri-ilmakuvia on myös käytetty parantamaan puulajien tulkintatarkkuutta. (Kangas ym. 2011, 136—137.)

Laserkeilausaineistosta saatua tietoa voidaan käyttää metsäsuunnittelussa joko lähteenä tai tuomaan lisätietoa. Laserkeilaustiedon tarkkuusvaatimus riippuu

käyttökohteesta. Suuremman alueen hakkuumahdollisuuksien tarkastelussa tiedon täytyy olla tarkkaa. Puunhankinnan tai metsänhoitotöiden suunnittelussa tiedon ei tarvitse olla niin tarkkaa. (Kangas ym. 2011, 139—140.)

Kaukokartoitus on käytössä olevilla menetelmillä haastavaa pienemmälle puustolle. Kaukokartoituksessa ei ole tulkintaa alle kahden metrin taimikoille. Ne näkyvät puustotulkinnassa aukkoina. Myöskään varttuneemmissa taimikoissa ei päästä puustotulkinnan laadussa vaadittuihin kriteereihin. Puustotulkinnan laatu-kriteerit ovat 50 prosentin tarkkuus runkoluvussa ja voimassa olevien hyvän metsänhoidon suositusten mukaisuus toimenpide-ehdotuksissa. Tarkin tulkittu tunnus taimikoissa on pituus ja epätarkin runkoluku. (Metsäkeskus 2016, 7.)

3 METSÄNMITTAUS

3.1 Puutunnukset

Puujakso on laatueroasteikolla mitattava tunnus. Puujaksoja ovat ylempi jakso, alempi jakso ja ainoa jakso. Ainoa jakso on kyseessä silloin, kun muita puujaksoja ei ole. Puujaksoilla kuvataan puiden jakautumista selkeisiin ryhmiin. Puujaksot erottuvat joko iällään tai koollaan. (Kangas ym. 2011, 24.)

Latvuserrokset kuvaavat puun asemaa metsikössä Lauri Ilvessalon kehittämän luokituksen mukaan. Ilvessalon luokituksessa latvuserroksia ovat päävaltapuut, lisävaltapuut, välipuut ja aluspuut. Luokituksessa erotetaan myös alikasvospuut ja ylispuut. (Ärölä 2008, 274.)

Alikasvos ja alempi puujakso tarkoittavat eri asioita. Termien käyttö riippuu siitä, mihin metsän kasvatuksessa tähdätään. Alikasvos nimitystä käytetään valtapuuston alle ennen päätehakkuuta syntyneestä taimiaineksesta. Vasta päätehakkuun yhteydessä päätetään, yritetäänkö alikasvos säästää osaksi seuraavaa puusukupolvea. Kaksijaksoisessa metsänkasvatuksessa toimitaan koko ajan molempien puujaksojen hyväksi. Tässä menetelmässä molempien puujaksojen kehittyminen ovat tavoitteissa samanarvoisia. (Valkonen 2000, 44.)

Puun osista runko on kaupallisesti kiinnostavin mittauksen kohde. Puun runko voidaan jakaa käyttöpuuhun ja hakkuutähteisiin. Käyttöpuu voidaan taas jakaa eri käyttötarkoitusten mukaan puutavaralajeihin. Puutavaralajeja ovat tukkipuu, kuitupuu ja energiapuu. Puusta voidaan mitata suoraan alkuperäisiä tunnuksia. Tällaisia tunnuksia ovat esimerkiksi pituus ja läpimitta. Johdettuja tunnuksia voidaan laskea alkuperäisten tunnusten avulla. (Kangas ym. 2011, 24.)

Läpimitalla tarkoitetaan puun halkaisijaa. Yleensä metsätaloudessa käytetään rinnankorkeusläpimittaa, joka tarkoittaa 1,3 metrin korkeudelta mitattua puun läpimittaa. Muita käytettyjä läpimittoja ovat yläläpimitta, kannonkorkeusläpimitta ja suhteellisilta korkeuksilta mitatut läpimitat. Yläläpimitta mitataan kuuden metrin korkeudesta. Kannonkorkeusläpimitta mitataan kannon korkeudelta. Suhteelli-

silta korkeuksilta mitatuilla läpimitoilla tarkoitetaan tietyn prosenttiosuuden korkeudelta mitattua läpimittaa. Pituudella tarkoitetaan tyven ja latvan huipun välistä etäisyyttä. (Kangas ym. 2011, 26.)

Puujoukosta mitattavia summatunnuksia ovat muun muassa runkoluku, pohjapinta-ala ja tilavuus. Runkoluku kertoo puiden lukumäärän hehtaarilla. (kpl/ha) Runkoluku on erityisien käyttökelpoinen taimikkoa mitatessa. Pohjapinta-ala on puiden pohjapinta-alojen summa, joka ilmoitetaan neliömetreinä hehtaarilla. (m^2/ha) Pohjapinta-alaa voidaan mitata helposti relaskoopilla. Pohjapinta-alalla kuvataan metsikön tiheyttä ja siitä voidaan laskea metsikön tilavuus pituuden avulla. Puujoukon tilavuudella tarkoitetaan puiden runkojen yhteen laskettua tilavuutta. Tilavuus ilmoitetaan kuutiometreinä hehtaarilla. (m^3/ha) (Kangas ym. 2011, 68—69.)

3.2 Puutunnusten mittaaminen

Läpimittaa voidaan mitata kaulaimella, mittasaksilla tai talmeterilla. Talmeter on mittanauha, jolla mitataan puun ympärysmittaa, mutta jonka asteikko ilmoittaa tuloksen läpimittana. Rungon läpimitan mittauksen lähtöpiste on maan tasolla tai puun syntypisteessä. Syntypistettä käytetään, jos puu kasvaa esimerkiksi kiven päällä. Jos puu on haaroittunut 1,3 metrin alapuolelta rinnankorkeusläpimittaa mitattaessa, luetaan haarat omiksi rungoikseen. (Kangas ym. 2011, 31—32.)

Puun pituutta voidaan mitata mittatangolla tai korkeusmittarilla eli hypsometrillä. Mittatankoa käytetään taimikoissa. Hypsometrit perustuvat joko vertaustankoon tai tähtäysetäisyyteen. Vertaustankoon perustuvia hypsometrejä ei nykyään juuri käytetä. Tähtäysetäisyyteen perustuvat hypsometrit ovat kulmanmittauskojeita, joilla mitataan tietyltä etäisyydeltä kulmalukema puun latvaan ja tyveen. Puun pituuden laskeminen perustuu kulmien tangentteihin. Hypsometri ilmoittaa luke-man suoraan metreinä. (Kangas ym. 2011, 35.)

VERTEX- hypsometri koostuu lähetinyksiköstä ja hypsometriyksiköstä. Puun pituus mitataan asettamalla lähetin puuhun 1,3 metrin korkeuteen. Hypsometri kohdistetaan lähettimeen, jolloin laite mittaa etäisyyden puuhun sekä tähtäyslinjan ja vaakatason välisen kulman. Seuraavaksi hypsometrillä tähdätään puun latvaan, jolloin se laskee puun pituuden. VERTEX käyttää ultraäänipulsseja etäisyyden

määrittämiseen. Laitteella voidaan myös mitata pelkkää etäisyyttä lähettimeen. (Kangas ym. 2011, 36—37.)

Pysyvien koealojen tarkoitus on seurata metsikössä tapahtuvaa muutosta samassa paikassa. Tällä tavalla saadaan metsiköstä eri aikaan mitattujen koealojen tuloksista poistettua koealojen sijoittelusta johtuva satunnaisvaihtelu. Pysyviä koealoja käytettäessä saadaan luotettavampaa tietoa metsikön kehityksestä. Pysyvät koealat täytyy paikallistaa tarkasti, jotta seuraavat mittaukset voidaan tehdä varmasti samasta paikasta. (Kangas ym. 2011, 177.)

3.3 Mittausten tarkkuuden tarkastelu

Puuston mitattuja ja eri inventointimenetelmillä ennustettuja tunnuksia tarkastellaan ennusteiden tarkkuutta kuvaavilla estimaattoreilla. Estimoinnissa esitetään arvioita perusjoukon ominaisuuksista otoksen avulla. Perusjoukon tuntematonta ominaisuutta kutsutaan parametriksi. Otoksesta lasketaan parametrille numeerinen arvo. Estimaattoriksi kutsutaan parametrin arvon laskennassa käytettyä kaavaa. Estimaattorilla otoksen havainnoista laskettua arvoa kutsutaan estimaatiksi. (Tilastokeskus 2020a.)

Harhalla (*bias*) arvioidaan estimaattorin tulosten luotettavuutta. Harha kuvaa estimaattien keskimääräistä virhettä. Harhan avulla voidaan myös tarkastella mahdollista systemaattista virhettä, sen suuntaa ja voimakkuutta. Absoluuttinen harha lasketaan kaavalla yksi. Suhteellinen harha lasketaan kaavalla kaksi. (Anttila & Lehtikoinen 2002, 385.) Harha voidaan siis esittää myös suhteellisella asteikolla prosenttilukuna (Joensuu 2013, 24).

$$\text{Harha (absoluuttinen)} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (1)$$

$$\text{Harha (suhteellinen)} = \frac{\text{harha(absoluuttinen)}}{\bar{y}} \quad (2)$$

joissa

y_i	on	maastossa mitattu arvo
\hat{y}_i	on	estimaatti
n	on	otosten lukumäärä

\bar{y} on maastossa mitattujen arvojen keskiarvo.

Minimi tarkoittaa tutkittavan jakauman pienintä arvoa. Maksimi tarkoittaa tutkittavan jakauman suurinta arvoa. (Tilastokeskus 2018.)

Tilastokeskuksen mukaan mediaani on keskiluku, joka ilmoittaa suuruusjärjestykseen lajitellun jakauman keskimmäisen arvon. Havaintojen määrän ollessa parillinen, mediaani on kahden keskimmäisen arvon keskiarvo. Leila Karjalaisen mukaan havaintoarvojen jakautuessa normaalisti mediaani ja keskiarvo ovat lähes samat. Vinossa aineistossa poikkeamat vaikuttavat keskiarvoon, mutta eivät mediaaniin. Mediaania käytetään laskelmissa, joissa suuresti poikkeavien arvojen ei haluta antaa vaikuttaa lopputulokseen. (Karjalainen 2010, 73; Tilastokeskus 2018.)

Keskihajonta on hajontaluku, joka mittaa havaintojen sijoittumista keskiarvon ympärille huomioiden kaikki havaintoarvot. Keskihajonta lasketaan kaavalla kolme. Jos keskihajonta on pieni, havaintoarvot sijoittuvat tiiviisti keskiarvon ympärille. Suuri keskihajonta tarkoittaa sitä, että havaintoarvot ovat hajaantuneet keskiarvon ympärille. (Mellin 2006, 36.)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

missä

s	on	keskihajonta
n	on	havaintojen määrä
x	on	havainnon arvo
\bar{x}	on	havaintojen keskiarvo.

Keskihajonta on hyvä ja helposti laskettava hajonnan mitta. Keskihajonnan lukuarvo on sitä pienempi, mitä vähemmän havaintoarvot poikkeavat keskiarvosta. Jos aineisto vastaa mitattavaa ominaisuutta, keskihajonta on pieni. Huonosti mitattavaa ominaisuutta vastaavalla aineistolla keskihajonta on taas suuri. (Karjalainen 2010, 84.)

Muuttujan jakauma kuvaa sen eri arvojen yleisyyttä lukujoukossa. Jakaumaa voidaan kuvata visuaalisesti arvojen luokitteluun perustuvalla histogrammilla, jossa

x-akselilla ovat muuttujan arvoluokat ja pylvään korkeus kertoo arvojen esiintymismäärän luokassa. Toinen tapa kuvata jakaumaa on tiheysfunktion avulla. Normaalijakauma eli Gaussin käyrä on esimerkiksi tällainen tiheysfunktio. Tiheysfunktion arvoja voidaan laskea kaavalla neljä. (Tilastokeskus 2020b.)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (4)$$

missä

$f(x)$	on	tiheysfunktio
σ	on	keskihajonta
μ	on	keskiarvo
x	on	arvo, jolle jakauma lasketaan.

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimuksen toteutus jakautui kolmeen vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe oli maastosta mitatun puustotietoaineiston hankkiminen. Toisessa vaiheessa hankittiin laserkeilausaineistosta estimoitua puuston pituutta kuvaavaa numerotietoa, jota käsiteltiin Microsoft Excel taulukko-ohjelmalla. Kolmannessa vaiheessa verrattiin mitattua referenssiaineistoa ja laserkeilausaineistosta estimoitua tietoa.

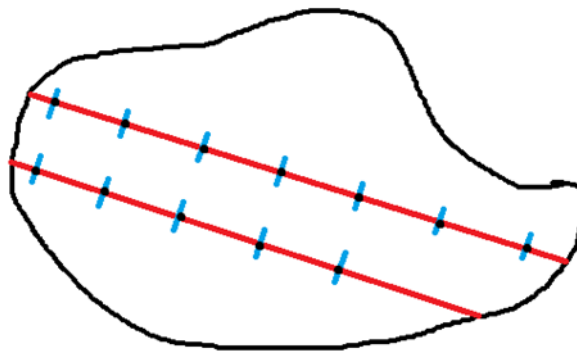
4.1 Maastotyöt

Maastotyöt tapahtuivat Lapin Ammattikorkeakoulun metsätalousinsinööriopiskelijoiden tekemässä Mittausprojektissa. Projektia tekivät yhdeksän neljännen vuoden opiskelijaa ja kaksi ohjaavaa opettajaa. Projektin tehtävänä oli suunnitella opetusmetsän alueelle metsätalouden toimenpiteitä ja metsän kasvatusta esitteleviä maastokohteita. Kohteet suunniteltiin ennalta määrättyjen metsänkäsittelytoimenpiteiden mukaan metsikkökuvioille. Toimenpidekuvioille perustettiin pysyviä koealoja, joilta mitattiin puustotietoja. Koealoja voidaan myöhemmin hyödyntää opetuksessa ja niiden avulla voidaan seurata metsikön kehittymistä. Koealoilta otettiin kuvia, jotka havainnollistavat koealan tilaa mittaushetkellä. Mittaukset tuli tehdä ympyräkoealoille siten, että kaikki yli viisi senttimetriä rinnankorkeuslähpimitaltaan olevat puut mitattiin. Lisäksi koealalta tuli mitata kasvupaikkaan liittyviä tunnuksia, jotka kirjattiin erilliselle lomakkeelle (Liite 1). Koealat tuli paikantaa DGPS-laitteella vähintään metrin tarkkuudella. Mitattavien koealojen määrä vaihteli kuvion pinta-alan mukaan yhden ja 12 välillä (Taulukko 1).

Taulukko 1. Koealojen määrä kuvion pinta-alan mukaan

Kuvion pinta-ala	Koealojen määrä
< 0,5 ha	2
0,5-1 ha	3
1-3 ha	5
3-5 ha	8
> 5 ha	12

Koealojen paikka kuviolla määräytyi kuviolle sijoitetun mahdollisimman pitkän janan mukaan (Kuvio 2). Kuvion ensimmäinen koeala sijaitsi 25 metriä kuvion reunasta. Seuraavan koealan keskipiste sijaitsi 50 metrin päässä edellisen keskipisteestä. Koealat osutettiin janalle älypuhelimien karttasovelluksilla ja kompassilla. Koealojen välinen etäisyys mitattiin askelmitalla, joten se ei ole tarkka. Tärkeimpänä pidimme, että koealat eivät leikkaa toisiaan. Jos kuvion koealat eivät mahduneet yhdelle janalle, siirryttiin janalta 90 asteen kulmassa sivulle noin 50 metriä. Tähän perustettiin toinen jana, joka kulki edellisen rinnalla. Jos samalla kuviolla oli useampi ryhmä mittaamassa, lähdimme alusta asti tekemään kahta eri janaa mittaamisen sujuvoittamiseksi. Koealoja pyrittiin perustamaan kuviota edustaville paikoille. Keskipistettä voitiin siirtää joitakin metrejä esimerkiksi sähkölinjan takia.



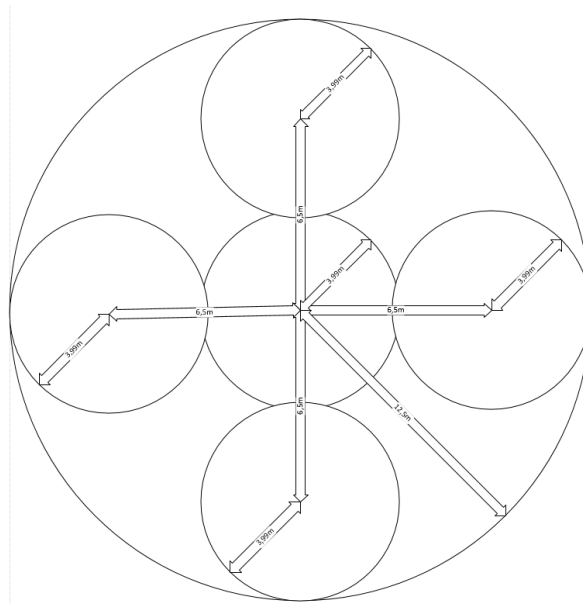
Kuvio 2. Koealojen sijoittelu

Ympyräkoelan säde oli 12,5 metriä. Koealalta mitattiin jokaisen yli viisi senttimetriä rinnankorkeusläpimitaltaan olevan elävän puun pituus, rinnankorkeusläpimitta, ja elävän latvuksen korkeus. Lisäksi merkittiin ylös puun juokseva numero koealalla, puulaji, puutyyppi ja ikä. Tukkipuita olivat yli 19 senttimetriä rinnankorkeusläpimitaltaan olevat tukkipuun kriteerit täyttävät puut. Puun ikää emme mitanneet tarkasti kairaamalla projektin aikataulun takia. Arvioimme puuston iän koko kuviolta edustavia yksittäisiä puita tarkastelemalla.

Puiden pituudet ja elävän latvuksen korkeudet mitattiin VERTEX-hypsometrillä ja läpimittojen mittaaminen tapahtui Talmeter-mittanauhalla. Rajapuiden etäisyyden mittaaminen tapahtui myös VERTEX:llä. Mittaaminen tapahtui suurimmaksi

osaksi kolmen hengen ryhmissä. Ryhmässä yksi toimi kirjurina. Yksi käytti VERTEX:ä, jolla mittasi puiden pituuksia, elävän latvuksen korkeuksia sekä rajapuiden etäisyyksiä. Kolmas ryhmän jäsen siirsi VERTEX:n lähetinyksikköä mitattaviin puihin, nauhoitti mitatun puun ja mittasi puun rinnankorkeusläpimitan. Mitastulokset kirjattiin älypuhelimella valmiiseen Excel-lomakkeeseen (Liite 2).

Lisäksi jokaiselta koealalta mitattiin viisi taimikkokoealaa 3,99 metrin säteellä. Taimikkokoealat tuli sijoittaa siten, että ympyräkoealan keskipisteessä oli yksi koeala ja jokaiseen ilmansuuntaan tuli yksi koeala noin 6,5 metrin päähän keskipisteestä (Kuvio 3). Taimikkokoealoilta mitattiin joka puulajilta runkoluku, keskiläpimitta ja keskipituus. Lisäksi merkittiin puujakson numero, puulaji ja arvioitiin ikä. Alle viisi senttimetriä rinnankorkeusläpimitaltaan olevat puut mitattiin taimikkokoealoihin. Taimikkokoealoja ei merkitty maastoon. Taimikkokoealatiedot kirjattiin omalle lomakkeelleen (Liite 3).



Kuvio 3. Taimikkokoealojen sijoittelu

Opinnäytetyön kannalta olennaisia ovat taimikkokoealat, jotka muodostavat tutkimuksen referenssiaineiston. Tutkimus rajautui tarkastelemaan vain taimikkokoealoja, koska ne muodostivat selkeän latvuserroksen. Aineistosta olisi ollut mahdollista tutkia myös muita alempia latvuksia, mutta tutkimuksen selkeyttämiseksi rajausta tehtiin alikasvospuihin. Taimikkokoealoja otettiin yhteensä 315. Kaikilla kuvioilla taimiaines oli vallitsevan puuston alla. Tutkimuksessa ei siis ole mukana taimikkokuvioita. Taimikkokoealat mitattiin 3,99 metriä pitkän onkivavan

avulla, jolloin runkoluvusta saatiin laskettua hehtaarimäärä helposti. Taimikkokoealojen sijoittelussa käytettiin apuna kompassia suunnan määrittämiseen.

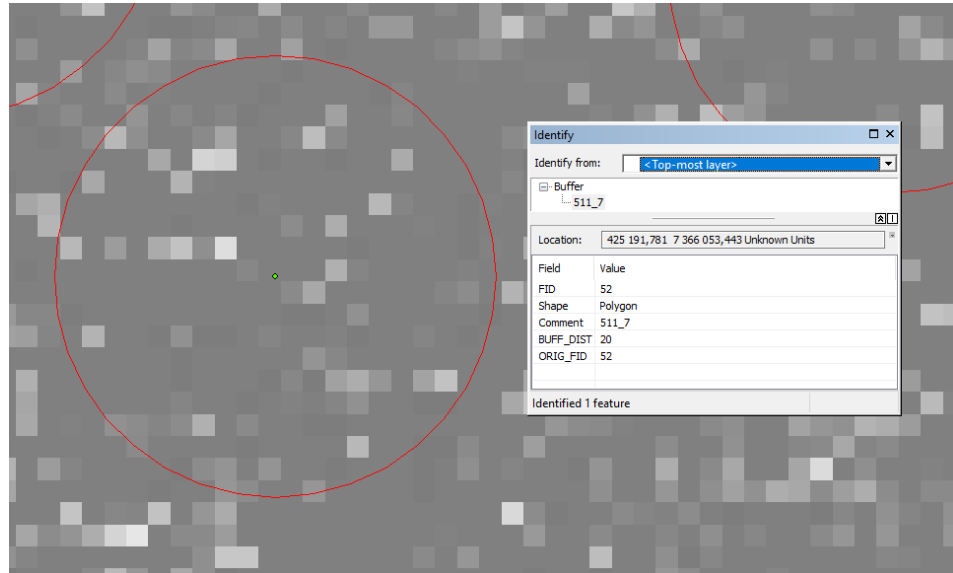
4.2 Laserkeilausaineiston analysointi

Laserkeilausaineisto hankittiin Maanmittauslaitoksen avoimesta aineistopalvelusta. Käytetyn laserkeilausaineiston pistepilvi on stereomalliväitteisesti käsitelty vastaamaan korkeusmallin laskennan tarpeita. Pistetiheys aineistossa on vähintään 0,5 pistettä neliömetrillä. (Maanmittauslaitos 2020.) Lisäksi Maanmittauslaitoksen avoimesta aineistopalvelusta hankittiin korkeusmalli, joka kertoo maanpinnan korkeuden merenpinnasta.

Maanmittauslaitokselta saatu laserkeilausaineisto oli laz-muotoinen vektoriaineisto. Tutkimusta varten siitä luotiin pistepilven eri korkeuksia kuvaavia rasteritasoja. Rasteritasojen luominen tapahtui LasCanopy-ohjelmalla. Rasteritasoja luotiin pistepilven korkeuden eri prosentiosuuksista. Prosentti osuudet olivat 1 %, 5 %, 10 %, 25 %, 50 %, 75 %, 90 %, 95 % ja 99 %. Tutkimuksen kannalta kiinnostavia osuuksia olivat 1 %, 5 %, 10 %, 25 % ja 50 %, koska tarkasteltavien puiden pituudet olivat lähempänä maanpintaa, kuin vallitsevaa latvusta. Rasteritasojen ruudun koko oli 2 x 2 metriä. Tarkasteltavat koealat jakautuivat tutkimusalueelle siten, että laserkeilausruutuja tarvittiin neljä kappaletta. Jokaisesta laserkeilausaineistoruudusta laskettiin yhdeksän rasteritasoa. Rasteritasoja oli yhteensä 36.

Rasteritasojen tarkastelu ja työstäminen tapahtui ArcMap-ohjelmalla. Jokaista prosentti osuutta kuvaavia rasteritasoja oli neljä. Laskennan helpottamiseksi samaa prosentiosuutta kuvaavat rasterit yhdistettiin yhdeksi tasoksi. Rasteritaso koostui 2 x 2 metrin ruuduista, joilla jokaisella oli numeroarvo (Kuva 1). Numeroarvo kuvasi ruudun kohdalla sijaitsevien laserkeilauspisteiden korkeusarvoja. Koska rasteriruutujen arvot ilmoittivat korkeuden merenpinnasta, vähennettiin rasteritasoista maanpinnan korkeutta merenpinnasta kuvaava taso. Näin saatiin rasterien arvot puustoa kuvaaviksi ja siten vertailukelpoisiksi maastoaineistoon. ArcMap projektiin lisättiin maastokoealojen sijainteja kuvaava shapefile tiedosto. Asettamalla shapefile taso ja rasteritasot ETRS-TM35FIN-koordinaatistoon, saatiin ne kohdistettua toisiinsa. Koealojen keskipisteiden ympärille luotiin 20 metrin

säteellä puskurialue, jolta laskenta tapahtui (Kuvio 4). Puskurialueet nimettiin kuvionumeron ja koealan mukaan, jotta vastaavien maastossa mitattujen puustotietojen vertaaminen taulukko-ohjelmalla olisi mahdollista.



Kuvio 4. Kymmene prosentin rasteritaso, koealan keskipiste ja puskurialue

Koealoihin kohdistetuista rastereista laskettiin rasteriruutujen lukuarvojen keskiarvot (*mean*) jokaiselta puskurin rajaamalta alueelta. Saadut arvo taulukoitiin Excel-ohjelmaan (Taulukko 2).

Taulukko 2. Taulukoituja rasteritietoja

Rovid_	COMMEI	ZONE	COC	COUNT	AREA	MEAN
40_1			1,00	310,00	1240,00	4,62
888_1			2,00	315,00	1260,00	1,16
888_2			3,00	313,00	1252,00	0,77
888_3			4,00	312,00	1248,00	0,58
888_4			5,00	313,00	1252,00	0,22
888_5			6,00	310,00	1240,00	0,25
888_6			7,00	308,00	1232,00	0,61
888_7			8,00	311,00	1244,00	0,75
888_8			9,00	312,00	1248,00	0,69
888_9			10,00	315,00	1260,00	0,78
888_10			11,00	315,00	1260,00	0,65
888_11			12,00	308,00	1232,00	0,86
888_12			13,00	310,00	1240,00	0,77
894_1			14,00	309,00	1236,00	1,55
894_2			15,00	308,00	1232,00	2,66
894_3			16,00	307,00	1228,00	2,13
894_4			17,00	312,00	1248,00	2,18
894_5			18,00	316,00	1264,00	2,64

4.3 Aineistojen vertailu

Laserkeilausaineistosta estimoidun tiedon ja referenssiaineistona toimivan maasto koeala tiedon vertailu tapahtui tarkastelemalla niiden erotusta. Mittausprojektissa laskettiin taimikkokoealoista sitä ympyräkoealaa vastaava hehtaari-kohtainen runkoluku, miltä taimikkokoealat oli mitattu (Liite 4). Taimikkokoealoilta mitatuista pituuksista laskettiin koealakohtaiset keskiarvot joka puulajilta. Näiden runkolukujen ja pituuksien avulla laskettiin kaikkien puiden hehtaari-kohtainen runkoluvulla painotettu keskipituus kaavaa viisi käyttäen. Eri puulajeja ei haluttu laskea erikseen, koska laserkeilausaineistostakaan ei ollut mahdollista erottaa puulajeja.

$$H = \frac{(n_1 \times h_1) + (n_2 \times h_2) + \dots + (n_n \times h_n)}{(n_1 + n_2 + \dots + n_n)} \quad (5)$$

missä

H	on	runkoluvulla painotettu keskipituus hehtaarilla [m/ha]
n	on	runkoluku hehtaarilla [kpl/ha]
h	on	korkeus [m].

Joka koealalta lasketusta hehtaari-kohtaisesta runkoluvulla painotetusta keskipituudesta vähennettiin laserkeilausaineistosta estimoitu korkeusarvo. Näin saatiin jokaiselle korkeusprosenttiosuudelle lukujoukko, joka kuvaa sen samankaltaisuutta maastossa mitatun pituustiedon kanssa.

5 TULOKSET

Tulosten analysoimiseksi laskettiin lukujoukoista minimi, maksimi, mediaani, keskihajonta, harha ja suhteellinen harha. Tässä vaiheessa tarkastelusta rajautuivat pois korkeimmat prosenttiosuudet, koska taimikkokoealojen pituusarvot olivat suurimmaksi osaksi alle kolme metriä. Näin ollen tutkimuksen kannalta ei ollut oleellista tarkastella valtapuuston latvuuksia, joiden korkeusarvot olivat lähempänä 20 metriä. Tulosten havainnollistamiseksi lukujoukot luokiteltiin ja niistä muodostettiin normaalijakauman tiheysfunktiolla jakaumat. Luokitelluista arvoista ja jakaumista tehtiin yhdistetyt pylväs- ja viivakaaviot.

5.1 Laskentatulokset

Lopullisiin laskelmiin valikoituvat mukaan 1 %, 5 %, 10 %, 25 % ja 50 % tasot. Tutkimuksen tavoite pyrittiin saavuttamaan referenssiaineiston ja estimaatin erotusta tarkastelemalla. Erotus kuvasi tässä tapauksessa aineistojen samankaltaisuutta toisiinsa nähden. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää taso, jossa tämä erotus olisi ollut keskimäärin mahdollisimman lähellä nollaa. Tällöin aineistojen arvot olisivat olleet lähellä toisiaan. Erotuksen negatiiviset arvot tarkoittivat sitä, että laserkeilausaineisto antoi puuston pituudelle yliarviota. Positiivisilla arvoilla laserkeilausaineiston arvot olivat aliarvioita. Erotuksia tarkasteltiin lukujoukkona, josta laskettiin lukujoukkoa kuvaavia tunnuksia. Tunnuksset olivat mediaani, harha, suhteellinen harha ja keskihajonta. Näistä tunnuksista tulkittiin tutkimuksen tulokset.

Lukujoukon keskiluvuksi valittiin mediaani, koska estimaateissa oli yksittäisiä suuresti tavoitetuloksesta poikkeavia arvoja. Mediaania poikkeamat vääristivät vähemmän, kuin olisivat vääristäneet aritmeettista keskiarvoa.

Tutkimuksen laskentatulokset on esitetty taulukossa kolme. Kaikilla rasteritasoilla esiintyi systemaattista yli- tai aliarviota, joita mitattiin harhalla. Kolmella ensimmäisellä tasolla harhan arvot olivat positiivisia ja 25 % tasosta eteenpäin negatiivisia. Positiivinen harha tarkoittaa sitä, että lukujoukon arvot ovat painottuneet

positiivisiin arvoihin. Vastaavasti negatiivinen harha kertoo lukujoukon arvojen painottuvan nollan alapuolelle.

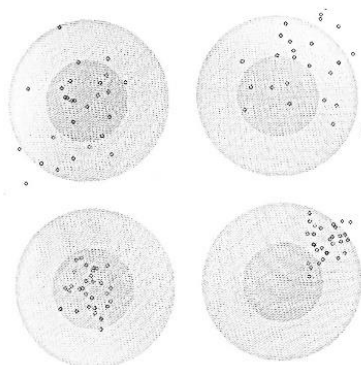
Keskihajonta laskettiin käyttäen keskilukuna mediaania. Kaikilla tasoilla keskihajonta oli suuri. Keskihajonta kasvoi ylempiin tasoihin mentäessä. Kolmella ensimmäisellä tasolla keskihajonta oli lähellä yhtä.

	Medi- aani	Harha	Harha %	Keski- hajonta	Minimi	Mak- simi
1 %	1,04	0,68	48 %	1,03	-1,99	2,59
5 %	0,84	0,48	34 %	1,09	-2,34	2,30
10 %	0,52	0,22	16 %	1,18	-2,80	1,95
25 %	-0,71	-0,93	-66 %	1,54	-4,28	1,73
50 %	-4,26	-4,49	-316 %	1,83	-8,83	-1,25

Taulukko 3. Laskennan tulokset

5.2 Tulosten luotettavuus

Tulosten luotettavuutta arvioitiin harhan ja keskihajonnan avulla. Harhan ollessa negatiivinen tai positiivinen, tuloksissa on systemaattinen virhe. Jos keskihajonta on suuri, ovat tulokset epätasälliset. Kuviossa viisi on esitetty esimerkkejä tulosten täsmällisyydestä ja harhaisuudesta. Ylhäällä vasemmalla ovat epätasälliset ja harhattomat tulokset, ylhäällä oikealla ovat epätasälliset ja harhaiset tulokset, alhaalla vasemmalla ovat harhattomat ja täsmälliset tulokset ja alhaalla oikealla ovat harhaiset ja täsmälliset tulokset. (Kangas ym. 2011, 5.)

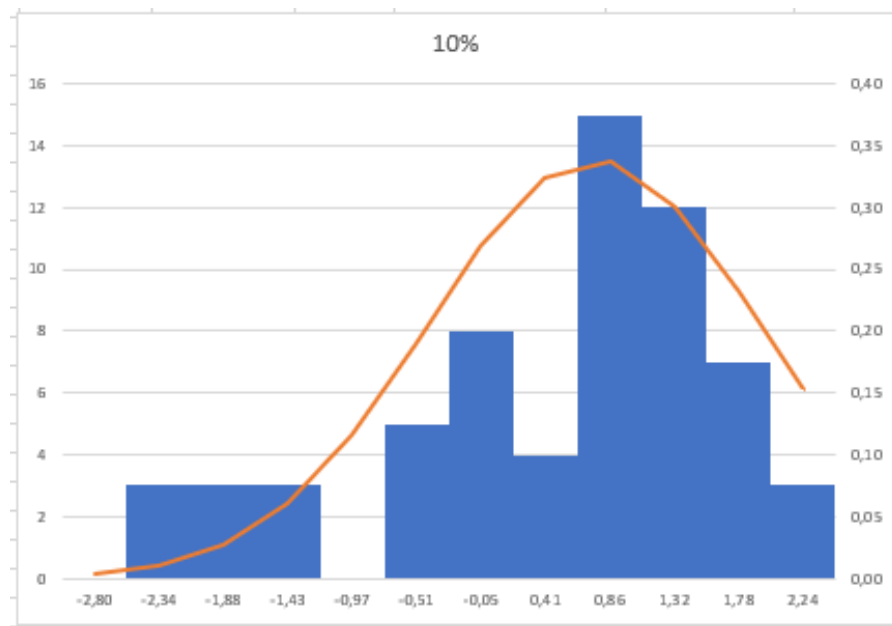


Kuvio 5. Tulosten täsmällisyys ja harhaisuus

Saatujen harhan ja keskihajonnan arvojen perusteella tuloksia ei voida pitää luotettavina asetetun tavoitteen saavuttamiseksi. Tulokset ovat harhaiset ja epätasälliset.

5.3 Tulosten analysointi

Kymmenen prosentin tasolla mediaani oli lähimpänä nollaa. Samalla tasolla tulosten harha oli pienin. Jakaumasta nähdään, että arvot ovat keskittyneet hieman nollan positiiviselle puolelle, mutta levinneet melko laajalle. Eniten arvoja on välillä 0,86—1,78. Nollan lähelle välille -0,51—0,41 arvoja tuli 17 kappaletta, joka on 27 % kaikista arvoista (Kuvio 6). Jakauman huippu on 0,86 kohdalla, joten se on vino positiiviseen suuntaan.



Kuvio 6. Kymmenen prosentin tason arvojen jakauma.

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää luotettava tapa tulkita alikasvospuustoa laserkeilausaineistosta. Saadut tulokset osoittavat, että pelkän harvapulssisen laserkeilausaineiston perusteella ei voida erottaa alikasvospuustoa. Luotettavaa tulkintaa ei voitu tehdä, koska tulosten keskihajonta oli suuri. Parhaan tuloksen antaneen kymmenen prosentin tason ja referenssiaineiston erotuksien mediaani oli 0,52 ja keskihajonta 1,18. Nollan lähelle, välille -0,51—0,41, sijoittuneita arvoja oli vain 27 % kaikista arvoista. Tämä määrä ei ole riittävä, jotta tulos olisi luotettava. Keskihajonta kertoo kuinka paljon havainnot poikkeavat keskimäärin havaintojen keskiarvosta tai tässä tapauksessa mediaanista. Keskihajonnan ollessa

suuri, eivät estimaatin arvot ole keskittyneet mediaanin ympärille. Näin ollen tulos on epätasainen. Jos keskihajonta olisi ollut pieni, olisi voitu muodostaa laskentakaava, jolla laserkeilausaineiston arvot olisi saatu kalibroitua vastaamaan maastossa mitattuja arvoja.

Tutkimuksen tulosta selittäviä tekijöitä ovat luultavasti käytetyn laserkeilausmenetelmän harvapulssisuus sekä maanpinnan epätasaisuudet. Käytetty laserkeilausaineisto on luotu käyttäen harvapulssista laserkeilausmenetelmää, jossa pulsseja on 0,5—2 pulssia neliömetrillä. Pulssimäärän ollessa pieni ja taimiaineksen tilajärjestyksen ollessa epäsäännöllinen ei keilauskaikuja osu tarpeeksi puuntaimiin. Lisäksi valtapuuston latvukset rajoittavat pulssien pääsyä alempiin puustokerroksiin. Kivet, kannot ja rehevä aluskasvillisuus, esimerkiksi katajapensaat ja saniaiset, voivat johtaa tulosta harhaan alle metrin korkeuksia tarkasteltaessa.

Laserkeilausaineistossa voi olla kaikuja muista kuin puun taimista maanpinnan yläpuolelta. Koska referenssiaineistossa on huomioitu ainoastaan puuntaimet, tämä voi aiheuttaa tutkimuksen tuloksen. Yksi tulokseen vaikuttava tekijä voi olla myös valmiina olevan maastoaineiston käyttö tutkimuksessa. Tutkimuksesta olisi voitu saada parempi tulos, jos maastoaineiston koealat olisi sijoitettu juuri tätä tutkimusta ajatellen. Tutkimukseen olisi voitu valita kuvioita, joilla on selkeästi peittävä taimiaines valtapuuston alla. Käytetyt metsikkökuviot eivät olleet täysin optimaalisia tätä tutkimusta ajatellen.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoite oli selvittää, voidaanko laserkeilausaineistosta ennustaa valtapuuston alla kasvavan puuston tunnuksia. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että alikasvospuuston tunnusten ennustaminen ei onnistu ainakaan harvapulssisella laserkeilausmenetelmällä tuotetusta aineistosta. Jos tulos olisi ollut toinen, olisi tutkimuksen tulosta voitu jalostaa digitaalisen metsäsuunnittelun tarpeisiin. Olisi voitu luoda malli, joka kuvaa alikasvospuustoa jo olemassa olevien latvusmallien tapaan. Malli olisi voinut toimia digitaalisena työkaluna metsätalouden operatiivisessa suunnittelussa ja metsäomaisuuden hoidon suunnittelussa. Eri-tyisesti tapauksissa, joissa taimiaines jollakin tavalla täytyy ottaa huomioon. Mallista olisi voinut olla hyötyä esimerkiksi ennakkoarvaustarpeen kartoittamisessa, riistametsänhoidon suunnittelussa ja peitteisen metsänkasvatuksen edellytysten arvioinnissa.

Virtuaalimetsä 2.0 -hankkeen kannalta tutkimus osoitti, että harvapulssisesta keilausaineistosta ei voida erottaa alikasvospuuston korkeuksia. Tutkimuksen tulosta ei siis voida hyödyntää pienemmän puuston sijoittelussa Virtuaalimetsä ympäristössä.

Tutkimuksen tekeminen opetti minulle paljon laserkeilausaineistoista, niiden tutkimisesta ja käsittelystä. Oli palkitsevaa saada muunnettua laserkeilauspistepilvi analysoitavaan numeromuotoon, josta pystyi selkeästi lukemaan puuston pituuksia. Opin paljon puustotunnusten estimoinnista laserkeilausaineistosta. Opin myös yleisesti tieteellisen tutkimuksen tekemisestä. Opinnäytetyötä tehdessä vahvistui tunne siitä, että laserkeilausaineiston tulkinta on tärkeä osa metsäammattilaisen osaamista. Osaaminen kaukokartoituksen alueelta tulee olemaan tulevaisuudessa vielä tärkeämpää kaukokartoitusmenetelmien ja digitaalisen metsätalouden suunnittelun yleistyessä.

Jos tekisin tutkimuksen uudestaan, kiinnittäisin huomiota enemmän metsikkökuvioiden valintaan. Valitsisin koealakuviot siten, että niillä olisi selkeä kaksijaksoinen puusto. Alikasvospuuston tulisi olla vähintään kaksi metriä pitkää, jotta maanpinnan epätasaisuuden aiheuttamat häiriöt voitaisiin minimoida. Näin voisi tutkimus antaa paremman tuloksen. Toisaalta nyt käytettyjen koealojen määrän

olisi pitänyt riittää sattumanvaraisuuden kompensoimiseen. Tutkimuksen referenssiaineiston koealat eivät olleet mitattu kaksijaksoista kasvatustapaa edustavilta metsikkökuvioilta. Referenssiaineisto koostui valtapuuston alle luonnollisesti syntyneestä alikasvospuustosta.

Kaukokartoitusmenetelmien käyttö metsätalouden suunnittelussa on yleistynyt ja kehittyy koko ajan. Tässä tutkimuksessa käytetty harvapulssinen laserkeilausaineisto ei kuitenkaan kyennyt vastaamaan tutkimuksen tarpeisiin. Jatkotutkimuksena olisi mielenkiintoista toteuttaa sama laskenta tiheäpulssisella keilausmenetelmällä luodusta aineistosta.

LÄHTEET

Anttila, P. & Lehtikoinen, M. 2002. Kuvioittaisten puustotunnusten estimointi ilmakuvilta puoliautomaattisella latvusten segmentoinnilla. Metsätieteen aikakauskirja 3/2002: 381—389. Viitattu 16.1.2020

<https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6178.pdf>.

Holopainen, M., Tokola, T., Vastaranta, M., Heikkilä, J., Huitu, H., Laamanen, R. & Alho, P. 2015. Geoinformatiikka luonnonvarojen hallinnassa. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitoksen julkaisuja 7: 1—152. Viitattu 16.1.2020

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/166765/GIS_kirja_kansineen_netti.pdf?sequence=1.

Joensuu, M. 2013. Männyn (*Pinus Sylvestris*) laatutunnusten estimointitarkkuus maastolaserkeilausaineistosta. Helsingin yliopisto. Metsätieteiden laitos. Metsävaratieteen ja -teknologian pro gradu –tutkielma. Viitattu 23.1.2020

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42420/ProGradu_JoensuuMariana.pdf?sequence=1.

Kangas, A., Päivinen, R., Holopainen, M. & Maltamo, M. 2011. Metsän mittaus ja kartoitus. 3. painos. Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto.

Karjalainen, L 2010. Tilastomatematiikka. 9. painos. Keuruu: Pii-Kirjat Ky.

Korhonen, M. 2020. Opinnäytetyö. Sähköposti juho.lohi@edu.lapinamk.fi 18.2.2020. Tulostettu 18.2.2020.

Lapin AMK 2018. Virtuaalimetsä 2.0. Viitattu 18.2.2020

<https://www.lapinamk.fi/fi/Yrityksille-ja-yhteisöille/Lapin-AMKin-hankkeet?Repo-Project=521533>.

Luonnonvarakeskus 2020. Metsätalous ja digitalisaatio. Viitattu 27.1.2020

<https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/digitalisaatio/metsatalous-ja-digitalisaatio/>.

Maanmittauslaitos 2020. Laserkeilausaineisto. Viitattu 22.1.2020

<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>.

Maltamo, M., Packalén, P., Uuttera, J., Ärölä, E. & Heikkilä, J. 2008. Laserkeilaustulkinnan hyödyntäminen metsäsuunnittelun tietolähteenä. Metsätieteen aikakauskirja 4/2008: 304—309. Viitattu 6.2.2020

<http://elektra.helsinki.fi/se/m/1455-2515/2008/4/laserkei.pdf>.

Mellin, I. 2006. Tilastolliset menetelmät. Teknillinen korkeakoulu, Matematiikan laboratorio. Viitattu 4.2.2020

<https://math.aalto.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/Johdanto.pdf>.

Metsäkeskus 2016. Suomen metsäkeskuksen metsävaratiedon laatuseloste. Viitattu 6.2.2020

https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/metsavaratiedon_laatuseloste.pdf.

Salmenperä, H. 2004. Kaukokartoituksen alkeet. Tampereen teknillinen yliopisto, Geoinformatiikan laboratorio.

Tilastokeskus 2018. Tietoa tilastoista. Käsitteet. Viitattu 29.1.2020
<https://www.stat.fi/meta/kas/index.html>.

Tilastokeskus 2020a. Tilastokoulu. Viitattu 29.1.2020
https://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?course_id=tkoulu_tilaj&lesson_id=2&subject_id=6&page_type=sisalto.

Tilastokeskus 2020b. Tilastokoulu. Viitattu 30.1.2020
https://tilastokoulu.stat.fi/verkkokoulu_v2.xql?page_type=esim&course_id=tkoulu_tilaj&lesson_id=2&subject_id=5&example_id=2.

Valkonen, S. 2000. Kuusen alikasvos ja kaksijaksoinen metsikkö — mahdollisuudet ja kannattavuus. Metsätieteen aikakauskirja 1/2000: 44—49. Viitattu 6.3.2020
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff00/ff001044.pdf>.

Xinlian, L., Kankare, V., Hyypä, J., Yunsheng, W., Kukko, A., Haggrén, H., Xiao-wei, Y., Kaartinen, H., Jaakkola, A., Fengying, G., Holopainen, M. & Vastaranta, M. 2016. Terrestrial laser scanning in forest inventories. Teoksessa ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 63-77. Viitattu 12.2.2020
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.006>

Ärölä, E., 2008. Metsävarojen mittaaminen ja arviointi. Teoksessa Tapion taskukirja. 25. painos. S. Rantala, (toim.) Metsäkustannus Oy, 271—316.

LIITTEET

- Liite 1. Koealalomake, koealan perustiedot
- Liite 2. Koealalomake, puustotiedot
- Liite 3. Koealalomake, taimikkoeala
- Liite 4. Metsikkötason puustotunnukset, alle 5cm läpimitta

Liite 1. Koealalomake, koealan perustiedot

Koealalomake, koealan perustiedot												
Tukki% koivu												
Tukki% kuusi												
Tukki% mänty												
Koealan säde												
Koealan keskipisteen Y-koordinaatti												
Koealan keskipisteen X-koordinaatti												
Kaltevuus suunta												
Maan kaltevuus												
Turvakerroksen paksuus												
Suotyyppi												
Pääpuulaji												
Kuvion saavutettavuus												
Metallin laatu												
Kehitysluokka												
Kuivatustilanne												
Maalaji												
Kasvupaikkaluokka												
Alaryhmä												
Päryryhmä												
Koealanro												

Koealan perustiedot

Liite 2. Koealalomake, puustotiedot

Koealalomake, puustotieto								
Koealanro	Puunro	Puulaji	Puutyyppi	Ikä	Läpimitta	Pituus	Elävän oksarajan korkeus	Tilavuus

Koealan puustotiedot

Liite 3. Koealalomake, taimikkokoeala

[illegible]

Taimikkokoealatiedot

Liite 4. Metsikkötason puustotunnukset, alle 5cm läpimitta

[illegible]

Metsikkötunnukset, taimikko